

# Penentuan Hiposenter Gempabumi dan Model Kecepatan Lokal di Wilayah Jawa Timur Menggunakan Metode *Double Difference*

Chi Chi Novianti, dan Bagus Jaya Santosa

Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: bjs@physics.its.ac.id

**Abstrak**—Jawa Timur, secara fisiologis maupun geografis, terdapat gunungapi dan sesar yang masih aktif serta berpotensi terjadi gempabumi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui model kecepatan bumi lokal 1-D, menentukan distribusi persebaran hiposenter dan hasil relokasi hiposenter gempabumi berdasarkan kejadian yang digunakan menggunakan metode *double difference* yang terjadi di wilayah Jawa Timur. Data yang digunakan dalam penelitian ini data gempa tahun 2007 sampai 2015 di wilayah Jawa Timur. Penelitian ini menggunakan metode *double difference* yaitu metode yang menggunakan data relatif waktu tempuh antar dua hiposenter. Prinsip metode ini adalah jika jarak persebaran hiposenter antara dua gempa sangat kecil dibanding jarak antara stasiun ke sumber, maka *ray path* gempa dapat dianggap mendekati sama. Hasil yang diperoleh yaitu, model kecepatan bumi lokal 1-D yang diperoleh 5 lapisan dengan kecepatan 4,71 km/s - 7,14 km/s dan moho pada kedalaman mendekati 30 km. Hasil relokasi hiposenter menggunakan metode *double difference* menunjukkan bahwa metode ini mampu memberikan hasil koordinat episenter yang akurat dengan diperolehnya nilai Rms residual mendekati 0. Adanya penelitian ini dapat dijadikan sebagai salah satu upaya mitigasi bencana untuk masyarakat di Jawa Timur.

**Kata Kunci**— *double difference*, model kecepatan lokal, relokasi, subduksi Jawa Timur.

## I. PENDAHULUAN

Secara geologis Indonesia merupakan pertemuan 3 lempeng besar dunia, yaitu lempeng Eurasia, lempeng India Australia, dan lempeng Pasifik. Ketiga lempeng tersebut saling bergerak dan berinteraksi menjadikan wilayah Indonesia sangat kompleks. Kondisi ini menyebabkan beberapa wilayah Indonesia sering mengalami bencana alam berupa gempabumi, tsunami, gerakan massa tanah dan batuan, letusan gunungapi, dan dinamika geologi destruktif lainnya. Bencana alam yang hingga saat ini masih belum terselesaikan ialah kejadian gempabumi, terutama terkait dengan prediksi kapan, letak lokasi, dan seberapa besar gempabumi akan terjadi.

Gempabumi adalah getaran yang dirasakan di permukaan bumi yang terjadi akibat adanya sumber getar di dalam bumi. Sumber getar tersebut dapat berasal dari letusan gunung api, longsoran masa batuan, atau tumbukan lempeng. Kejadian gempa bumi erat kaitannya dengan patahan atau tahapan deformasi batuan atau aktivitas tektonik [1] Titik pusat gempa bumi terjadi di dalam bumi disebut hiposenter, sedangkan titik pusat gempa bumi pada permukaan bumi disebut episenter [2].

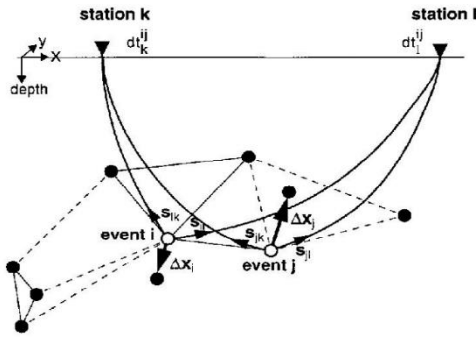
Menurut Samodra dan Chandra (2013) di Pulau Jawa termasuk wilayah yang berpotensi terjadi gempabumi dengan intensitas sedikit atau jarang. Selama kurun waktu 1950-2013 terjadi 3556 kejadian gempa bumi. Rata-rata *magnitude* gempa sebesar 4.65 SR. Kedalaman pusat gempa di Jawa lebih bervariasi antara gempa dalam, gempa menengah, dan gempa dangkal. Berdasarkan hasil penelitian terdapat 138 kejadian gempa dalam, 770 kejadian gempa menengah, dan 2648 kejadian gempa dangkal. Gempabumi tersebut disebabkan oleh pertemuan lempeng Hindia Australia yang menunjam di bawah lempeng Eurasia [3].

Wilayah Provinsi Jawa Timur dapat dikelompokkan dalam tiga zona, yaitu zona selatan-barat (plato), merupakan pegunungan yang memiliki potensi tambang cukup besar; zona tengah (gunung berapi), merupakan daerah relatif subur terdiri dari dataran rendah dan dataran tinggi (dari Ngawi, Blitar, Malang, hingga Bondowoso); dan zona utara dan Madura (lipatan), merupakan daerah relatif kurang subur (pantai, dataran rendah dan pegunungan). Struktur geologi Jawa Timur didominasi oleh *alluvium* dan bentukan hasil gunung api kuartir muda dengan prosentase 44,5 %, batuan miosen sekitar 12,33 % dan hasil gunung api kuartir tua sekitar 9,78 % dari luas total wilayah daratan. Sedangkan batuan lain hanya mempunyai proporsi antara 0-7% saja. Berdasarkan letak geografis dan fisiologis Jawa Timur menunjukkan bahwa wilayah Jawa Timur rentan terhadap pergerakan tanah, tanah longsor, kejadian gempabumi, hingga berpotensi terjadinya tsunami [4].

Metode *double difference* merupakan suatu metode penentuan posisi relatif hiposenter gempa (Waldhauser, 2001). Metode ini menggunakan data waktu tempuh antara pasangan gempa ke suatu stasiun pengamat. Prinsip metode ini adalah jika jarak antara dua gempa yang dipasangkan relatif kecil dibandingkan dengan jarak antara stasiun dengan masing-masing gempa yang dipasangkan, maka *raypath* dan *waveform* kedua gempa tersebut dapat dianggap hampir sama. Dengan asumsi ini, maka selisih waktu tempuh antara kedua gempa yang terekam pada satu stasiun yang sama dapat dianggap sebagai fungsi jarak antara kedua hiposenter sehingga kesalahan model kecepatan bisa diminimalkan [5].

Gambar 1 menjelaskan tentang ilustrasi metode *double difference*. Terdapat bentuk lingkaran-lingkaran pada gambar tersebut. Lingkaran tersebut merupakan posisi hiposenter gempabumi yang dihubungkan dengan pusat gempabumi yang lain yang berada di sekitarnya. Adanya

hubungan tersebut karena adanya data korelasi silang dan katalog.



**Gambar 1.** Ilustrasi dari algoritma metode *Double Difference* [5].

Data korelasi silang ditunjukkan oleh garis lurus, sedangkan garis putus-putus menunjukkan data katalog. Lingkaran putih menunjukkan *event* gempa *i* dan *j* yang terekam pada stasiun *l* dan *k* dengan selisih waktu tempuh  $dt_k^{ij}$  dan  $dt_l^{ij}$ . Sedangkan  $\Delta x_i$  dan  $\Delta x_j$  merupakan vektor relokasi [6].

Waktu residu antara pengamatan dan perhitungan ( $\Delta d$ ) pada metode *double difference* merupakan perbedaan waktu tempuh observasi dan kalkulasi antara dua *event* gempa bumi, dapat dinyatakan dalam persamaan

$$d_k^{ij} = (t_k^i - t_k^j)^{obs} - (t_k^i - t_k^j)^{cal} \quad (1)$$

Persamaan (2) merupakan persamaan *double difference*. Dimana  $t_k^i$  merupakan waktu tempuh gelombang seismik ke stasiun *k* akibat gempa bumi *i* dan merupakan waktu tempuh gelombang seismik ke stasiun *k* akibat gempa bumi *j*. Selanjutnya Persamaan (2) dapat ditulis dalam bentuk [5]:

$$d_k^{ij} = \frac{\partial t_k^i}{\partial m} \Delta m^i - \frac{\partial t_k^j}{\partial m} \Delta m^j \quad (2)$$

Persamaan (2) dapat ditulis menjadi,

$$d_k^{ij} = \frac{\partial t_k^i}{\partial m} \Delta x^i + \frac{\partial t_k^i}{\partial y} \Delta y^i + \frac{\partial t_k^i}{\partial z} \Delta z^i + \Delta t_k^i - \frac{\partial t_k^j}{\partial x} \Delta x^j - \frac{\partial t_k^j}{\partial y} \Delta y^j - \frac{\partial t_k^j}{\partial z} \Delta z^j - \Delta t_k^j \quad (3)$$

Jika dinyatakan dalam bentuk matrik maka persamaannya akan menjadi,

$$\begin{pmatrix} \Delta d_1 \\ \Delta d_2 \\ \dots \\ \Delta d_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial t_1}{\partial x_1} \frac{\partial t_1}{\partial y_1} & \frac{\partial t_1}{\partial x_1} & 1 \\ \frac{\partial t_2}{\partial x_2} \frac{\partial t_2}{\partial y_2} & \frac{\partial t_2}{\partial x_2} & 1 \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial t_n}{\partial x_n} \frac{\partial t_n}{\partial y_n} & \frac{\partial t_n}{\partial x_n} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta t \end{pmatrix} \quad (4)$$

Atau

$$W \Delta d = W G \Delta m \quad (5)$$

dengan  $\Delta d$  adalah matriks waktu residu berdimensi  $M \times 1$ , maka  $M$  dan  $G$  berturut-turut merupakan jumlah data observasi *double difference* dan matriks Jacobi yang

berdimensi  $M \times 4N$ , dengan  $N$  dan  $\Delta m$  berturut-turut adalah jumlah gempa bumi dan matriks perubahan model yang berdimensi  $4N \times 1$ , sedangkan  $W$  merupakan matriks diagonal yang menjadi pembobotan dalam persamaan perhitungan waktu tempuh gelombang [6].

Penelitian ini menggunakan model kecepatan lokal 1-D diperoleh dari gelombang *P* untuk mendapatkan relokasi yang lebih tepat dengan menerapkan algoritma gempa *double difference* [7]. Ketepatan lokasi gempa adalah salah satu hal yang paling penting untuk penyelidikan seismik yang akurat, yang dapat merekonstruksi struktur seismogenik, bidang patahan dari mekanisme fokus dan mendefinisikan hubungan antara kegempaan dan aktivitas gunung berapi [8]. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode *double difference* karena metode ini lebih akurat dalam menentukan distribusi persebaran dan relokasi hiposenter gempabumi yang terjadi. Harapan dari penelitian ini dapat digunakan sebagai langkah awal dalam mitigasi bencana dan sebagai bahan acuan untuk penelitian selanjutnya yang lebih akurat.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Data Penelitian

Daerah penelitian ini berada di wilayah Jawa Timur dengan batas  $6^0-10^0$ LS dan  $111.04^0-114.44^0$ BT. Data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah data gempa dengan  $M_w > 4,5$  SR yang terjadi pada tahun 2007 hingga 2015.

Proses pengambilan data dilakukan melalui situs resmi pencatatan gempa GFZ-Postdam (GEOFON) dan station network IA yang diunduh di [www.webdc.eu](http://www.webdc.eu). Data parameter sumber gempabumi yang meliputi *origin time*, *magnitude*, *type*, *latitude*, *longitude*, *depth*, *region*, dan nama stasiun yang digunakan. Terdapat 100 kejadian gempabumi. Ada 13 stasiun yang merekam kejadian gempabumi yang digunakan pada penelitian, yaitu ABJI, BLJI, BYJI, GMJI, GRJI, KMMI, KRK, NGJI, PCJI, PWJI, SNJI, SWJI, dan TBJI.

### B. Relokasi Hiposenter dengan Double Difference

Penentuan relokasi hiposenter maupun episenter gempabumi dipengaruhi gelombang primer maupun sekunder. Penelitian ini menggunakan perambatan gelombang primer. Faktor penting dalam menentukan hiposenter gempabumi adalah waktu tiba gelombang primer dan sekunder, kecepatan gelombang primer ( $v_p$ ) dan *origine time*. Gelombang primer merupakan gelombang yang tercatat pertama kali di seismogram, sehingga gelombang primer dapat terdeteksi waktu tiba maupun waktu tempuh dengan lebih mudah [9]. Proses *picking* data gelombang pada penelitian ini menggunakan software SeisGram2K70.

Penentuan relokasi hiposenter gempabumi menggunakan *hypoDD* terdiri dari tahapan-tahapan, yaitu pembentukan pasangan dan dihubungkan dengan sekitar setiap kejadian gempabumi, lalu dikelompokkan (*clustering*), sehingga dapat diketahui hasil relokasi gempabumi. *Input* data pada program *ph2dt* berupa input data stasiun (nama stasiun, *latitude*, *longitude*) dan data gempabumi tiap *event* (*origine time*, *longitude*, *latitude*, *depth*, *magnitude*, *travel time*). Terdapat parameter-parameter yang digunakan, yaitu *minweight*, *maxdist*,

*maxsep*, *maxngh*, *minlink*, *minobs*, dan *maxobs*. Output yang dihasilkan pada program *ph2dt*, yaitu *dt.ct*, *event.sel*, *event.dat*, dan *ph2dt.log*. Program *ph2dt* dan *hypoDD* dijalankan menggunakan RedHat Cgywin.

### C. Model Kecepatan Bumi

Penentuan model kecepatan bumi pada penelitian ini menggunakan parameter model bumi Haslinger-Santosa seperti pada tabel 1. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan program *Veles33*. Setelah diperoleh model kecepatan bumi lokal baru, maka kecepatan bumi lokal baru tersebut digunakan untuk menentukan relokasi dengan menggunakan *hypoDD* seperti langkah awal, sehingga dapat dibandingkan data hasil relokasi menggunakan model kecepatan bumi umum dengan lokal.

### D. Interpretasi Data

Peta persebaran seismisitas pada penelitian ini dibuat menggunakan program GMT. Peta persebaran tersebut menampilkan setiap cluster hasil pengolahan data. Data hasil pengolahan menggunakan *hypoDD* berupa koordinat lokasi gempa. Terdapat 3 output gambar yang dihasilkan, yaitu plotting gempa sebelum direlokasi, sesudah direlokasi, dan gabungan dari keduanya. Pembuatan grafik model kecepatan bumi hasil pengolahan pada program *Veles33* dengan menggunakan Matlab. Nilai RMS hasil inversi *hypoDD* menggunakan model kecepatan umum dibandingkan dengan kecepatan lokal. Perbandingan tersebut digambarkan menggunakan histogram.

**Tabel 1.** Model bumi Haslinger-Santosa (*H<sub>S</sub>*) di Jawa

| No. | Kedalaman (km) | $v_p$ (km/s) | $v_s$ (km/s) |
|-----|----------------|--------------|--------------|
| 1   | 0,0            | 2,31         | 1,30         |
| 2   | 1,0            | 4,27         | 2,40         |
| 3   | 2,0            | 5,52         | 3,10         |
| 4   | 5,0            | 6,23         | 3,50         |
| 5   | 16,0           | 6,41         | 3,60         |
| 6   | 33,0           | 6,70         | 4,70         |
| 7   | 40,0           | 8,00         | 4,76         |
| 8   | 100,0          | 8,00         | 4,57         |
| 9   | 225,0          | 8,40         | 4,80         |
| 10  | 325,0          | 8,60         | 4,91         |
| 11  | 425,0          | 9,30         | 5,31         |

\* $v_p$  – Kecepatan gelombang primer

\* $v_s$  – Kecepatan gelombang sekunder

## III. HASIL DAN DISKUSI

### A. Persebaran Gempabumi Sebelum Relokasi

Berdasarkan Gambar 3 terlihat bahwa data gempabumi penelitian ini rata-rata terjadi di wilayah laut selatan Jawa Timur, sedangkan peristiwa gempabumi yang lainnya terjadi di daratan Jawa Timur. Kejadian gempabumi tersebut juga cenderung menyebar di wilayah laut selatan Pulau Jawa. Penyebaran kejadian gempabumi berdasarkan geologi pulau Jawa disebabkan adanya sesar aktif di wilayah Laut Jawa bagian timur dan terdapat jalur subduksi tersier yang menempati punggung bawah laut di selatan Pulau Jawa.

### B. Relokasi Episenter dengan Double Difference

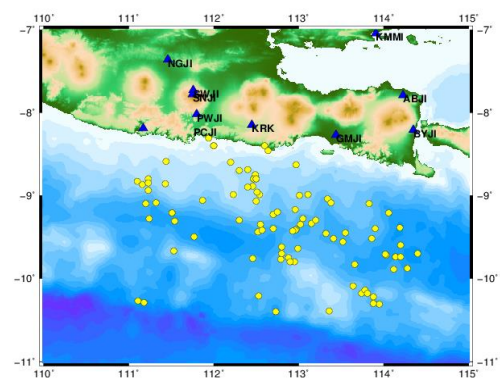
Kejadian gempabumi sebelum direlokasi tersebut menyebar di wilayah laut selatan Jawa Timur. Hasil

relokasi gempa menggunakan metode *double difference* pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4. Persebaran kejadian gempabumi setelah direlokasi cenderung mengumpul di wilayah tertentu sesuai dengan prinsip metode *double difference*. Gambar 5 menunjukkan gabungan persebaran kejadian gempabumi sebelum dan sesudah relokasi. Tanda bulat kuning menunjukkan letak sebelum kejadian gempabumi relokasi dan bulat hijau menunjukkan hasil relokasi. Berdasarkan hasil pengolahan terdapat perbedaan koordinat (*latitude* maupun *longitude*) hampir keseluruhan terjadi pada setiap kejadian gempabumi. Hasil gambar peta gabungan kejadian gempabumi letak hasil yang setelah terelokasi terlihat cenderung mengumpul pada wilayah tertentu. Pengumpulan ini terdiri dari pasangan-pasangan kejadian gempabumi menjadi satu. Diperkirakan pusat terjadinya gempabumi berada di titik-titik yang terjadi pengumpulan pasangan-pasangan kejadian gempabumi.

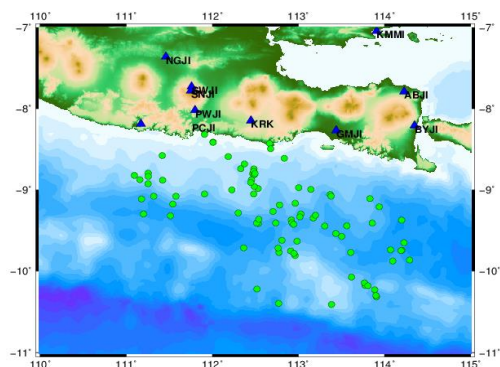
Kejadian gempabumi yang terjadi di Jawa Timur karena penunjaman Lempeng Hindia Australia di selatan Pulau Jawa. Pulau Jawa dalam kerangka tektonik terletak pada batas aktif zona penunjaman lempeng Indo-Australia di bawah lempeng Eurasia. Zona subduksi ini terlihat sebagai palung Jawa yang memanjang dari barat ke timur dan di sebelah utaranya terdapat pegunungan memanjang bawah laut yang dikenal sebagai busur luar.

### C. Seismisitas Zona Sesar Segmen Jawa Timur

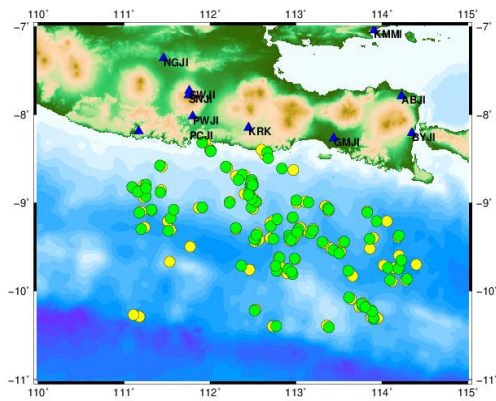
Hasil peta persebaran kejadian gempabumi yang telah direlokasi pada Gambar 5 dapat digunakan untuk mengetahui zona subduksi dan *cross section* zona sesar Jawa Timur. Gambar 6 menunjukkan adanya zona subduksi yang melintasi Pulau Jawa dan Gambar 7 memperlihatkan *cross section* pada kedalaman kejadian gempabumi.



**Gambar 3.** Peta persebaran episenter gempabumi sebelum direlokasi



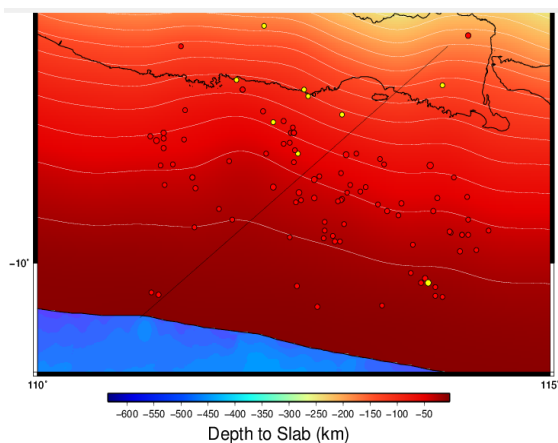
**Gambar 4.** Plot episenter gempabumi setelah direlokasi



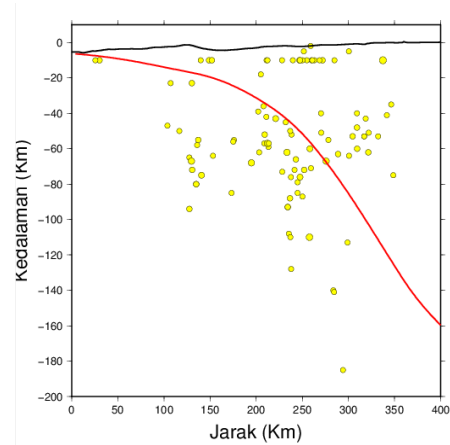
**Gambar 5.** Plot episenter gempa bumi sebelum dan setelah direlokasi

Gambar 6 terlihat bahwa wilayah Jawa Timur termasuk dalam kawasan yang dilewati oleh zona subduksi. Tanda merah dan kuning bulat pada gambar tersebut menunjukkan posisi kejadian gempa bumi. Warna bulat merah berarti kejadian gempa bumi terjadi pada kisaran 0 hingga 100 km. Sedangkan warna kuning berarti kejadian gempa bumi terjadi pada kisaran 100 sampai 300 km. Maka seismisitas gempa bumi di Jawa Timur berada di zona subduksi.

Terlihat pada Gambar 7 hiposenter gempa bumi didominasi pada kedalaman 0 hingga 100 km yang menyebar pada jarak antara 0 hingga 350 km. Selain itu, terdapat beberapa hiposenter gempa bumi pada kedalaman 10 km yang membentuk pola menyerupai garis lurus. Kedalaman tersebut disebut *fixed depth*. Garis lengkung berwarna merah merupakan garis model subduksi yang didapatkan dari katalog USGS. *Fixed depth* adalah hasil dari sistem penentuan gempa bumi milik BMKG yang dikerjakan secara manual oleh operator QC (*Quality Control*) atau oleh sistem. Kedalaman *fixed depth* muncul jika sinyal gempa bumi yang terekam pada sistem memberikan hasil yang kurang akurat. Jadi dalam penelitian ini wilayah Jawa Timur termasuk dalam kategori gempa dangkal dan sedang dengan rentang hiposenter < 200 km.



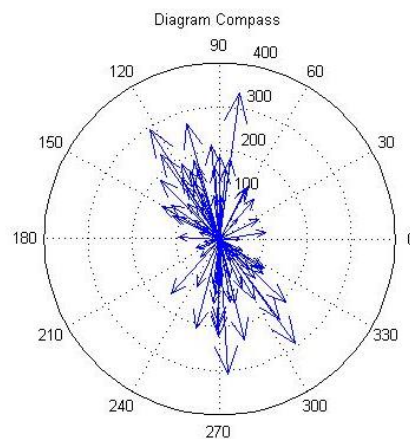
**Gambar 6.** Zona subduksi yang melintasi wilayah Jawa Timur



**Gambar 7.** Cross section hiposenter kejadian gempa bumi Jawa Timur

#### D. Diagram Kompas

Diagram kompas pada Gambar 8 berikut dapat digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai besar sudut posisi awal kejadian gempa hingga mengalami perubahan posisi sudut setelah relokasi kejadian gempa bumi (episenter gempa bumi). Gambar 8 merupakan diagram kompas hasil relokasi kejadian gempa bumi. Tanda panah pada diagram tersebut menunjukkan arah pergeseran. Lingkaran pada diagram kompas menyatakan jarak pergeseran dalam skala km. Diagram kompas pada penelitian ini mempunyai 4 skala lapisan, yaitu 100, 200, 300, dan 400. Diagram tersebut menunjukkan bahwa rata-rata gempa bumi mengalami pergeseran 0 hingga 100 km. Kejadian gempa bumi mengalami pergerakan terhadap arah utara menuju arah barat daya dan timur laut.



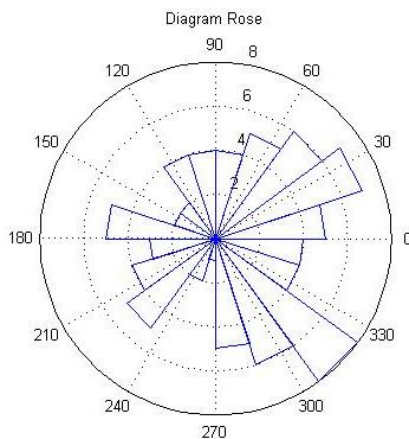
**Gambar 8.** Diagram kompas pergeseran episenter kejadian gempa bumi

#### E. Diagram Rose

Diagram *rose* pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 9. Gambar tersebut memberikan informasi bahwa terdapat interval 0 sampai 330 yang menunjukkan besar sudut pergeseran hasil relokasi kejadian gempa bumi. Lingkaran-lingkaran yang berada di dalam diagram menunjukkan jumlah kejadian gempa bumi. Skala pada lingkaran tersebut 2 sampai 8. Berdasarkan Gambar 9, kejadian gempa bumi yang terjadi di wilayah Jawa Timur menyebar hampir ke segala arah. Namun, terdapat beberapa kejadian gempa bumi cenderung ke arah tertentu, yaitu terjadi pada arah utara. Kejadian gempa bumi paling banyak terjadi pada pergeseran sudut relokasi antara 300° hingga 330° terhadap utara sebanyak



8 kejadian gempabumi ke timur laut. Kejadian gempabumi yang lainnya cenderung banyak terjadi juga pada rentang pergeseran sudut  $0^{\circ}$  sampai  $30^{\circ}$  dengan ke arah barat laut. Hasil pergeseran tersebut dapat dipengaruhi oleh distribusi stasiun dan gempabumi yang terjadi di wilayah Jawa Timur.



**Gambar 9.** Diagram *rose* pergeseran kejadian gempabumi hasil relokasi

#### F. Model Kecepatan Bumi

Penelitian yang dilakukan ini untuk mengestimasi model kecepatan lokal, kecepatan gelombang P serta kedalaman pada masing-masing lapisan di wilayah Jawa Timur. Penelitian mengenai model kecepatan bumi dilakukan dengan menggunakan program *Veltest33*. Hasil pengolahan data tersebut dapat dilihat seperti pada Tabel 2.

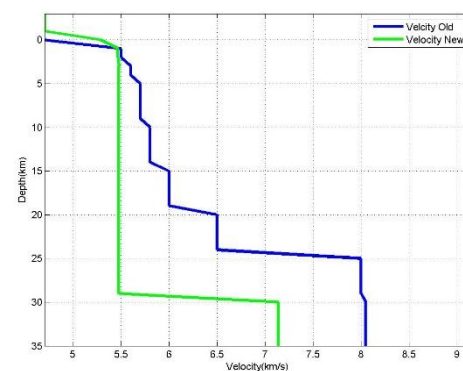
Hasil yang diperoleh pada Tabel 2 tersebut akan lebih mudah dianalisis dengan membuat grafik model kecepatan gelombang P 1-D seperti pada Gambar 10. Berdasarkan Gambar 10 tersebut, terlihat 5 lapisan untuk model kecepatan lokal Jawa Timur dan 8 lapisan pada model kecepatan awal, yaitu model bumi Haslinger-Santosa (H-S) di Jawa. Perbedaan tersebut dapat disebabkan cakupan wilayah dan geologi penelitian. Model bumi Haslinger-Santosa (H-S) dilakukan hampir di seluruh wilayah Jawa sedangkan penelitian ini hanya dibatasi wilayah Jawa Timur saja. Model kecepatan yang digunakan sangat berpengaruh dalam penentuan kondisi geologi wilayah [9].

Hasil RMS residual penelitian setelah relokasi memiliki nilai koreksi yang cukup kecil. Nilai RMS residual ini berkaitan dengan keakuratan suatu metode. Relokasi hiposenter gempabumi dengan memanfaatkan teknik *clustering* menggunakan *hypoDD* memberikan nilai residual yang lebih baik. Oleh karena itu, berdasarkan hasil relokasi RMS residual yang diperoleh pada penelitian ini, metode *hypoDD* dapat memberikan informasi dengan baik, di mana nilai perhitungan mendekati sama atau bahkan sama dengan nilai observasi. Hasil inversi pada penelitian ini diperoleh nilai kecepatan lokal Jawa Timur antara 4,71 km/s hingga 7,14 km/s. Letak diskontinuitas Mohorovicic (*moho*) pada model kecepatan lokal Jawa Timur terdapat pada kedalaman mendekati 30 km. Hal ini menunjukkan bahwa setiap wilayah memiliki model kecepatan 1D gelombang P yang berbeda sesuai dengan kondisi geologi bawah permukaan.

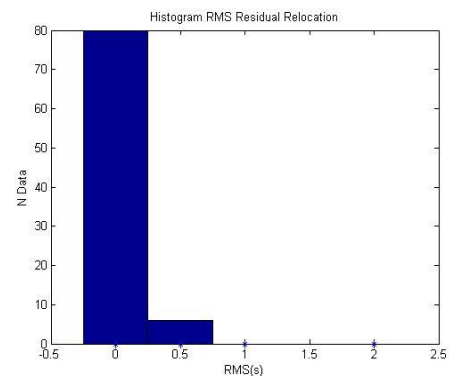
**Tabel 2.** Hasil Keluaran Model Kecepatan Bumi Lokal Jawa Timur

| No. | Kedalaman (km) | $v_p$ (km/s) |
|-----|----------------|--------------|
| 1   | -3             | 4,71         |
| 2   | 0              | 5,29         |
| 3   | 1              | 5,47         |
| 4   | 3              | 5,48         |
| 5   | 5              | 5,48         |
| 6   | 10             | 5,48         |
| 7   | 15             | 5,48         |
| 8   | 20             | 5,48         |
| 9   | 25             | 5,48         |
| 10  | 30             | 7,14         |

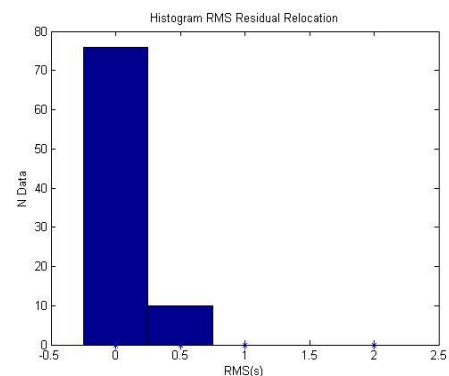
\*  $v_p$  – Kecepatan gelombang primer



**Gambar 10.** Grafik model kecepatan gelombang P 1-D di Jawa Timur



**Gambar 11.** Histogram RMS residual model kecepatan lokal Jawa Timur



**Gambar 12.** Histogram RMS residual setelah relokasi

Model kecepatan hasil inversi pada penelitian ini menunjukkan bahwa semakin dalam maka semakin besar pula kecepatan gelombang P. Semakin besar kecepatan gelombang P maka dapat dinyatakan bahwa semakin ke

dalam, lapisan penyusun bumi semakin rapat. Model kecepatan bumi lokal Jawa Timur digunakan sebagai input data pada program hypoDD.

Rata-rata RMS residual kecepatan lokal sebesar 1.68 detik sedangkan kecepatan bumi awal 1.73 detik. Nilai GAP yang diperoleh dari inversi menggunakan Velest sebesar 269. Model kecepatan lokal Jawa Timur menunjukkan bahwa nilai RMS residualnya lebih kecil daripada menggunakan model kecepatan bumi secara umum. Hal tersebut dapat dilihat pada histogram pada Gambar 11. Histogram Gambar 11 memberikan informasi bahwa nilai RMS residual berkisar antara 0 hingga 0.5 dengan banyak data yang memiliki nilai mendekati nol sebanyak 80 data, sedangkan histogram RMS residual hasil pengolahan data menggunakan model kecepatan umum pada Gambar 12 ada 75 data. Lapisan pertama terdapat pada kedalaman 0 hingga 29 km dan lapisan kedua pada kedalaman >30. Berdasarkan analisis tersebut, maka model kecepatan lokal Jawa Timur mendekati sesuai dengan geologi struktur yang ada sehingga dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas hasil relokasi karena model kecepatan lokal ini sesuai dengan geologi di Jawa Timur.

#### IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisa data yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Model kecepatan bumi lokal 1-D wilayah Jawa Timur yang diperoleh 5 lapisan dengan kecepatan antara 4,71 km/s hingga 7,14 km/s dan moho terletak pada kedalaman mendekati 30 km.
- 2) Distribusi persebaran hiposenter yang terjadi di wilayah Jawa Timur rata-rata menyebar di sepanjang jalur subduksi Pulau Jawa dengan kedalaman hiposenter 0 hingga 200 km termasuk gempabumi sedang dan dangkal.
- 3) Hasil relokasi hiposenter gempa berdasarkan event yang digunakan menggunakan metode *double difference* menunjukkan bahwa metode ini mampu memberikan hasil koordinat episenter yang akurat dengan diperolehnya nilai Rms residual mendekati 0.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya Santosa, S. U yang telah memberikan bimbingan selama penelitian ini berlangsung, serta teman sekelompok penelitian yang telah memberikan dukungan dan motivasi sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik dan sesuai rencana.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Noor, D., 2006. Geologi Lingkungan. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [2] Tjasyono HK, B., 2003. Geosains. Penerbit ITB, Bandung
- [3] Samodra, S.B., Chandra, V.R., 2013. Karakterisasi Gempa Bumi di Sumatera dan Jawa Periode Tahun 1950-2013. Pros. Semin. Nas. Kebumihan Ke-6.
- [4] PUSDALING Jatim-Geografis [WWW Document], n.d. URL <http://pusdaling.jatimprov.go.id/2-info-home/1-geografis-jatim.html> (accessed 2.29.16).
- [5] Waldhauser, F., Ellsworth, W.L., 2000. A Double-Difference Earthquake Location Algorithm: Method and Application to the Northern Hayward Fault, California. Bull. Seismol. Soc. Am. 90, 1353–1368.
- [6] Sunardi, B., Rohadi, S., Masturyono, M., 2012. Relokasi Hiposenter Gempabumi Wilayah Jawa Menggunakan Teknik Double Difference. J. Meteorol. Dan Geofis. 13.
- [7] Waldhauser, F., 2001. HypoDD: A computer program to compute double-difference earthquake locations. US Geol Surv.
- [8] Alparone, S., Gambino, S., 2003. High precision locations of multiplets on south-eastern flank of Mt. Etna (Italy): reconstruction of fault plane geometry. Phys. Earth Planet. Inter. 135, 281–289.
- [9] Nugraha, A.D., Syahputra, A., dan Fatkhan. 2011. Pemograman Ray Tracing Metode Pseudobending Medium 2D untuk Menghitung Waktu Tempuh Antara Sumber dan Penerima. *Jurnal Geofisika*, No.1/2.
- [10] Garini, S.A., Madlazim, E.R., 2014. Relokasi Hiposenter Gempa Bumi di Sulawesi Tengah dengan Menggunakan Metode Geiger dan Coupled Velocity-Hypocenter. J. Mhs. Teknol. Pendidik. 3.